



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

### **TREBALL FINAL DE GRAU**

---

# **FOTOGRAFIA AMB CÀMERA PINHOLE**

**MARINA NÚÑEZ GIMÉNEZ**

Tutor: JAUME ESCOFET SOTERAS  
Departament d'Òptica i Optometria

**26 DE JUNY DE 2017**



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. **Jaume Escofet Soterias**, com a tutor i director del treball,

CERTIFICA

Que la Sra. **Marina Núñez Giménez** ha realitzat sota la seva supervisió el treball “**Fotografia amb càmera pinhole**” que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo aquest certificat.

Sr. ....

Tutor del TFG

Terrassa, 12 de Juny de 2017



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# FOTOGRAFIA AMB CÀMERA PINHOLE

### RESUM

La càmera pinhole és un dispositiu que, malgrat la seva senzillesa, permet prendre unes fotografies que no deixen de sorprendre'ns. En aquest treball s'han realitzat fotografies amb quatre càmeres pinhole diferents: Una càmera de fusta, una càmera de cartró construïda per mi mateixa, una càmera Holga i una càmera Nikon D5100. En les dues primeres el sistema de captació de la imatge és analògic en forma de paper fotogràfic. La tercera també és analògica però en forma de pel·lícula fotogràfica mentre que l'última càmera es digital. Per entendre la formació d'aquest tipus d'imatges s'han explicat els principis bàsics del seu funcionament. En particular s'han detallat els fonaments òptics relacionats amb els aspectes més importants a l'hora de formar la imatges. Aquests són el camp angular, la nitidesa i l'exposició de la imatge..

En el cas de les càmeres analògiques, les imatges obtingudes eren uns negatius que ha calgut positivar digitalment, ja sigui amb l'ajut d'un escàner, en el cas del paper, o mitjançant un sistema fotogràfic pel cas dels negatius en forma de pel·lícula. Un cop digitalitzades les imatges ha calgut una post-producció en forma de retoc digital.

Una sèrie escollida de totes les imatges obtingudes es presenten al final del treball.



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRIA

# FOTOGRAFIA CON CÁMARA PINHOLE

### RESUMEN

La cámara pinhole es un dispositivo que, a pesar de su sencillez, permite tomar unas fotografías que no dejan de sorprendernos. En este trabajo se han realizado fotografías con cuatro cámaras pinhole diferentes: Una cámara de madera, una cámara de cartón construida por mí misma, una cámara Holga y, una cámara Nikon D5100. En las dos primeras el sistema de captación de la imagen es analógico en forma de papel fotográfico. La tercera también es analógica, pero en forma de película fotográfica mientras que la última cámara es digital. Para entender la formación de este tipo de imágenes también se han explicado los principios básicos de su funcionamiento. En particular se han detallado los fundamentos ópticos relacionados con los aspectos más importantes a la hora de formar la imagen. Estos son el campo angular, la nitidez y la exposición de la imagen.

En el caso de las cámaras analógicas, las imágenes obtenidas eran unos negativos que se han tenido que positivar de forma digital, ya sea con la ayuda de un escáner, en el caso del papel, o mediante un sistema fotográfico para los negativos en forma de película. Una vez digitalizadas las imágenes ha sido necesaria una post- producción en forma de retoque digital.

Una serie elegida de todas las imágenes obtenidas se presentan al final del trabajo.



## DEGREE IN OPTICS AND OPTOMETRY

# PHOTOGRAPHY WITH PINHOLE CAMERA

### SUMMARY

The pinhole camera is a device that despite its simplicity, allows to take pictures that don't stop surprising us. In this work, it has been taken pictures with four different pinhole cameras. One wood camera, one paperboard camera done by myself, one Holga camera and a one Nikon D5100 camera. In the first two, the image capture system is analogic in a photographic paper form. The third one is also analogical but in a photographic film form while the last camera is digital. To understand the making of this kind of pictures, have been explained the basic principles of their performance. Particularly, have been detailed the optical basis related to the most important aspects when forming images. These are the angular field, the sharpness and the exposure of the image. In the case of the analogic cameras, the obtained images were negatives that had to be converted too positive by digital way, either with the help of a scanner, in the case of paper, or by photographic system in the case of negatives with a film form. Once digitized images, it has been necessary a post-production in a retouching digital form. A chosen serie of all of images is presented at work end's.

## SUMMARY

The pinhole camera is a device completely sealed light used for imaging from 400-300 B.C. it has the first dates. This camera acts as a camera as the light passes through a pinhole or hole is added to the device, and the image is formed on the photosensitive material.

As shown in Figure 1, only need a small pinhole that acts as an objective, and a screen or sensor to capture the image. We can also observe the image formation by rectilinear trajectory of light rays.

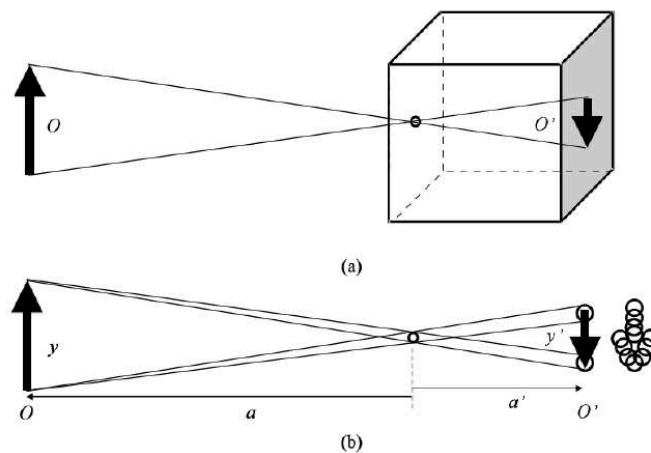


Figure 1. Formation of the image with a pinhole.

This type of camera results in images that do not experience distortion and have a big deep of field.

The image is formed due to overlapping spots that correspond point by point with the scene you want to photograph. For formation of the image requires a screen that is recorded. The size of the image is formed, is given by the relationship:

$$\frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (1)$$

Also explain the formation of pinhole images in nature. These images can be formed when for example there are many trees with leaves together and form small holes between them. In this case, the leaves act like pinhole formed and the images we see on the ground, are an image of the sun.



The pinhole is an element that we use a lot in the area of optometry, since an easy and fast way to know if a blurred vision of the patient is due to a refractive error of the eye or if it is a neural or ocular pathology.

We'll talk more in depth about the pinhole camera, the components that comprise it (the body of the camera, pinhole, shutter, the photosensitive material and the viewer) and how important is each of them forming the image. It also explains the different ways that we find this type of camera: parallelepiped, panoramic or cylindrical, materials normally used, and shows examples of these.

The photosensitive material used in this work was both analogue and digital. On analogue, we have used both photo paper and photographic film. For the application of these've worked with:

- Two cameras, one wooden and one cardboard with which we used photographic paper for image formation.
- A plastic camera, the Holga, we used the photographic film.

In both cases, after making photographs, should be made a developing process with which we obtain negative images. Later these images must be positive in order to see the real picture of the scene. To move on to positive images first and then digitize the Adobe Photoshop CS6, the processing, retouching we will pass positive.

In the case of photosensitive material, digital is the sensor that is integrated into the digital camera we used the Nikon D5100, who is responsible for capturing light from the scene to be photographed, the forms and processes image. In this case, the picture we get is already positive, just the process and / or tweak it to try to improve the image.

Another part of the work is to explain how to build a pinhole camera. We know what kind of container or is not suitable for its construction, as well as different materials and forms that normally have these devices.



How to make the pinhole in the right way and how to avoid edges are made as limiting the extension of image field. Once you have all the items, we will process the assembly of the camera.

The result of pinhole camera we get must be right, because if not, could enter to light from somewhere and would not be valid for the image formation because the photosensitive material would be burned.

It is also important to note part of the optical pinhole camera, the geometric model and the undulatory model of formation of the image.

The geometric model is based on:

$$\phi_{ig} = \phi_p \left(1 + \frac{a'}{a}\right) \quad (2)$$

And the undulatory model in this other expression:

$$\phi_{id} = \frac{2,44 \lambda f'}{\phi_p} \quad (3)$$

It describes in detail the most important foundations optical by what refer to formation of the image. These are the angular field, exposure and sharpness of the image.

You should be aware of the importance of correct exposure time, as if measuring the light photometer not done correctly, then all the work done will not do anything.

The sunny day rule is helpful to calculating the correct exposure time according to the lighting conditions which is located the scene to be photographed.

Finally, are each pinhole cameras we used to carry out the work. We give them all the specifications.

In each of the cameras, is a first example of negative image and the result after this process and make positive. And then some examples of the resulting images obtained from each camera.



## ÍNDEX

1. Introducció .....	3
2. Breu història .....	4
3. Formació de la imatge amb un pinhole .....	6
3.1 Característiques bàsiques .....	6
3.2 Necessitat d'una pantalla .....	7
4. Formació de la imatge mitjançant un/varis pinholes. Imatges pinhole a la natura (Imatge del Sol per les fulles dels arbres) .....	9
5. El pinhole en optometria .....	11
6. La càmera pinhole .....	14
6.1 Components .....	14
6.1.1 El cos de la càmera o la carcassa .....	14
6.1.2 El pinhole .....	14
6.1.3 L'obturador .....	15
6.1.4 El material fotosensible .....	16
6.1.4.1 Digital .....	16
6.1.4.2 Analògic .....	17
6.1.4.2.1 Pel·lícula .....	17
6.1.4.2.2 Paper fotogràfic .....	17
6.1.5. EL visor .....	18
6.1.5.1 Visor directe .....	18
6.1.5.2 Visor indirecte (càmera del mòbil) .....	19
7. Tipus de càmeres .....	20
7.1 Càmeres segons la seva geometria .....	20
7.1.1 Paral·lelepípediques .....	20
7.1.2 Cilíndriques .....	20
7.1.3 Panoràmiques .....	21
7.2. Càmeres segons el seu suport sensible .....	22
7.2.1 Paper/ pel·lícula/ CCD.....	22
7.2.1.1 Revelat i positiu .....	22
7.2.1.1.1 Positiu analògic (boxes of dreams pinhole) .....	22
7.2.1.1.2 Positiu digital .....	22
7.2.2 CCD/ CMOS .....	23

8. Construcció d'una càmera pinhole .....	24
8.1 Fabricació del pinhole .....	25
9. Òptica de la càmera pinhole .....	27
9.1 Model geomètric de formació de la imatge .....	27
9.2 Model ondulatori de formació de la imatge .....	28
9.3 Mida òptima del pinhole .....	29
10. Profunditat de camp .....	30
10.1 Exemples .....	30
11. Camp angular .....	32
11.1 Vinyetejat .....	33
12. Exposició .....	34
12.1 Diferents maneres de mesurar l'exposició .....	35
12.1.1 Fotòmetre TTL acoblat a la càmera .....	35
12.1.2 Fotòmetre manual .....	36
13. Característiques principals de les diferents càmeres, i imatges obtingudes amb cadascuna d'elles .....	37
13.1 Càmera de cartró .....	38
13.2 Càmera de fusta amb xassís .....	41
13.3 Càmera Holga .....	46
13.4 Càmera Nikon D5100 .....	50
14. Conclusions .....	54
Bibliografia .....	56

## 1. INTRODUCCIÓ

La càmera pinhole o càmera fosca és un dispositiu completament hermètic a la llum que s'utilitza per a la formació d'imatges. Aquesta càmera, passa a actuar com a càmera fotogràfica quan la llum que entra a través del pinhole forma una imatge que queda plasmada sobre un material fotosensible.

La càmera pinhole està formada per un objectiu en forma de forat, d'una mida molt petita, que rep el nom de estenop o pinhole (pin=agulla; hole=forat) i per una pantalla o sensor, en aquest cas material fotosensible, situat a la part de darrera del dispositiu per tal d'enregistrar la imatge, ja que és en aquesta part on es forma la imatge amb la llum que passa a través del pinhole.

Encara que estem parlant d'un dispositiu senzill, podem dir que les imatges obtingudes amb aquest tipus de càmera presenten avantatges respecte les imatges formades amb lents òptiques, sobretot quan la resolució no és important. Els avantatges principals que trobem al utilitzar en les imatges formades per una càmera pinhole són: que no experimenta distorsió i tenen una gran profunditat de camp.

Aquesta memòria, que tracta sobre fotografia en càmera pinhole, està dividida en diversos apartats. Començant per una breu història on es relata la formació d'imatges a través de pinhole ja des del 400 – 300 a.C. que es tenen els primers registres. Després continuem amb explicacions sobre la formació de la imatge amb un pinhole, i algunes de les aplicacions de pinhole que fem en optometria per tal de descartar de forma ràpida la causa de visió borrosa d'un pacient. Tot seguit fem referència a tots els components de la càmera pinhole, les diferents formes de càmera que s'utilitzen, així com l'explicació de com construir una d'aquestes, i tota la part òptica de la càmera.

Per acabar, es mostren algunes imatges de cadascuna de les càmeres utilitzades amb els diferents materials fotosensibles, les seves característiques, procés de revelat i resultats obtinguts.

## 2. BREU HISTÒRIA

Les imatges formades amb la càmera fosca es venen observant des de l'antiguitat. A continuació es mostra una breu cronologia [1]:

400 – 300 a.C. Ja es troben anotacions d'Aristòtil i Euclides on es descriu la formació d'imatges a través d'un forat.

1020 d.C. Ibn al Haitan va explicar com un nòmada va quedar sorprès al veure dins la seva tenda el paisatge que hi havia a l'exterior d'aquesta. L'explicació d'aquest fenomen era que en una de les parets de la tenda hi havia un petit forat per on es van projectar els raigs solars provinents del paisatge de fora.

Al 1038. Al Codex Atlanticus de Leonardo da Vinci es van descriure els principis de la formació d'imatges a través d'un forat o pinhole en un paràgraf que diu el següent:

*“ Dic que si en front d'un edifici o qualsevol espai obert il·luminat pel sol hi ha un habitatge i a la façana que no es troba en front del sol s'hi practica una obertura petita i rodona, tots els objectes il·luminats projectaran les seves imatges per aquest orifici, i seran visibles a l'interior de l'habitatge, sobre la paret oposada, que haurà de ser blanca, i allí estaran invertits; i si es fan obertures similars en diversos llocs de la mateixa paret, s'obtindran idèntics resultats en cada cas. D'on s'infereix que les imatges dels objectes il·luminats estan en tota aquesta paret i tots en cada minúscula part d'ella. La raó és que aquest orifici ha d'admetre una mica de llum en el ja esmentat habitatge, i la llum admesa per ell es deriva d'un o molts cossos lluminosos. Si aquests són de formes i colors diversos, els raigs que formen les imatges seran també de diverses formes i colors, com també ho seran les representacions a la paret “.*

1544. Apareix el primer esquema de formació d'imatges per un pinhole en un llibre.

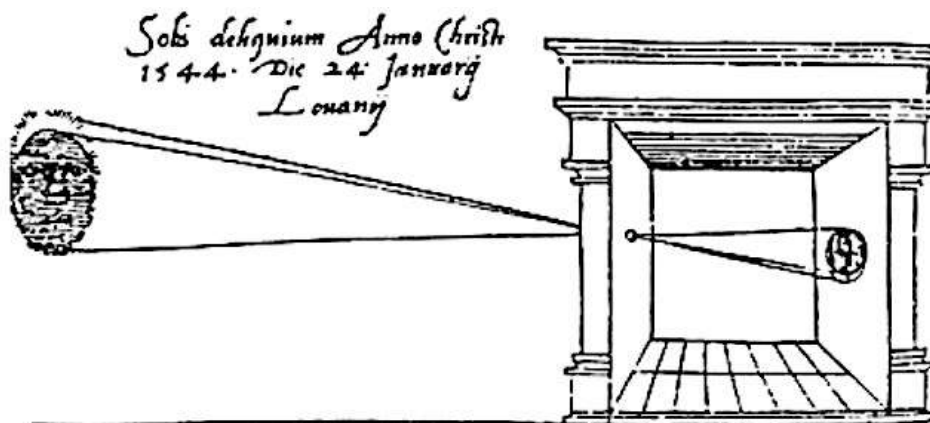


Figura 1. Il·lustració del llibre "De radio astronomico et geometrico liber"

Es tracta del llibre "De radio astronomic et geometrico liber" de Gemma Frisius. L'aplicació de la imatge pinhole en astronomia era força extesa en aquell temps. Kepler també va utilitzar la càmera fosca pel tal de fer observacions astronòmiques. És el primer en donar el terme *càmera fosca* com a tal a aquest dispositiu.

1553. Apareix el terme de càmera fosca en el treball Màgia Natural de Giovanni Batista, terme que se li va atribuir a Leonardo da Vinci.

1568. Daniele Barbero di Padua planteja la substitució de l'estenop per una lent simple ja que això aportarà més lluminositat de la imatge que estem observant.

1600. Es a finals del segle XVII quan el terme de càmera fosca passa a ser d'una capsa petita i no l'habitació d'un habitatge. Aquestes noves càmeres fosques les construeixen ja amb un mirall per tal de redreçar la imatge que en un principi estava invertida. Aquesta tècnica es fa molt popular, sobretot com a eina auxiliar de dibuix. Encara no han trobat un mode de captura de la imatge, i per tant, no la poden preservar; només es pot fer el traç manual sobre el paper.

1816. Les càmeres pinhole passen a ser càmeres fotogràfiques des del moment que Niepce aconsegueix capturar i preservar la imatge.

### 3. FORMACIÓ DE LA IMATGE AMB UN PINHOLE

#### 3.1 Característiques bàsiques.

A la càmera fosca la formació de la imatge s'explica de forma senzilla mitjançant la trajectòria rectilínia dels raigs de llum (Figura 2 (a)).

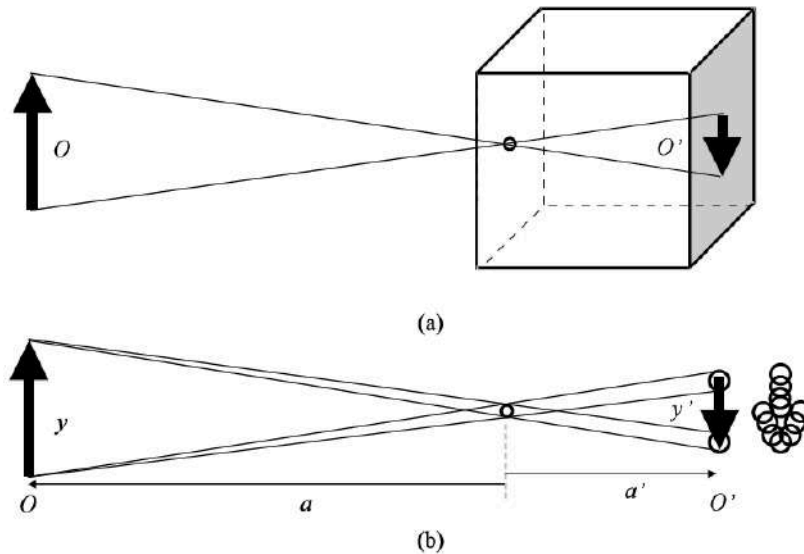


Figura 2. Formació de la imatge amb un pinhole.

Com podem observar a la figura 2 (b), la formació de la imatge és possible gràcies a la superposició de taques, on cada punt de la imatge que es vol fotografiar es projecta a la pantalla o material fotosensible, a través del pinhole de la càmera fosca, en forma de taca segons el model geomètric de la llum.

La mida de la imatge que es forma, ve donada per aquesta relació:

$$\frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (1)$$

En el cas que el pinhole o forat tingui qualsevol altre forma que no sigui rodona, com pot ser un triangle, un quadrat, etc. Llavors la imatge estarà formada per la superposició de taques de la forma que es va donar al pinhole.

La figura 3 mostra de forma esquemàtica la formació de la imatge per una mateixa càmera amb pinholes de forma geomètrica diferent.

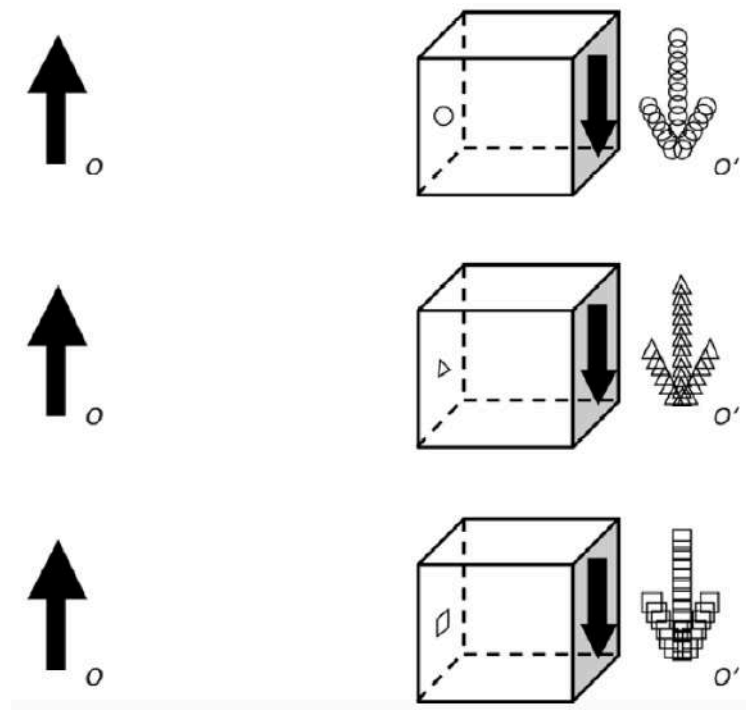
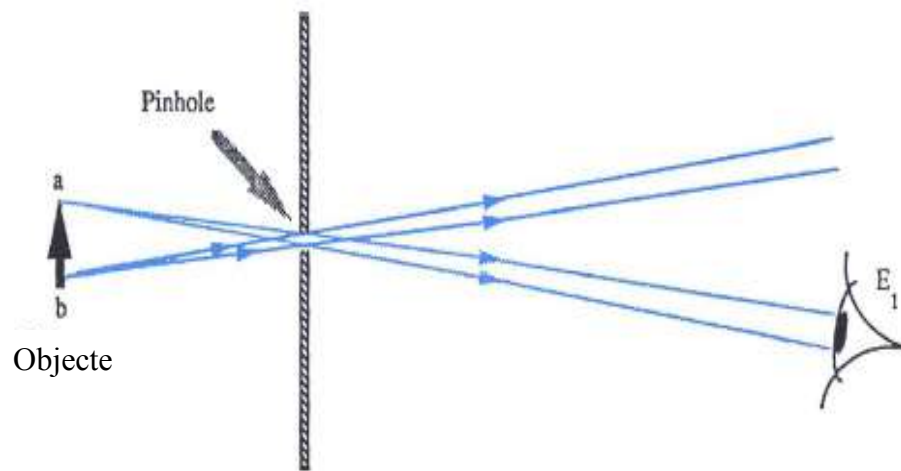


Figura 3. Formació de la imatge amb pinholes de diferents forma geomètrica. (a) Circular. (b) Triangular. (c) Quadrat.

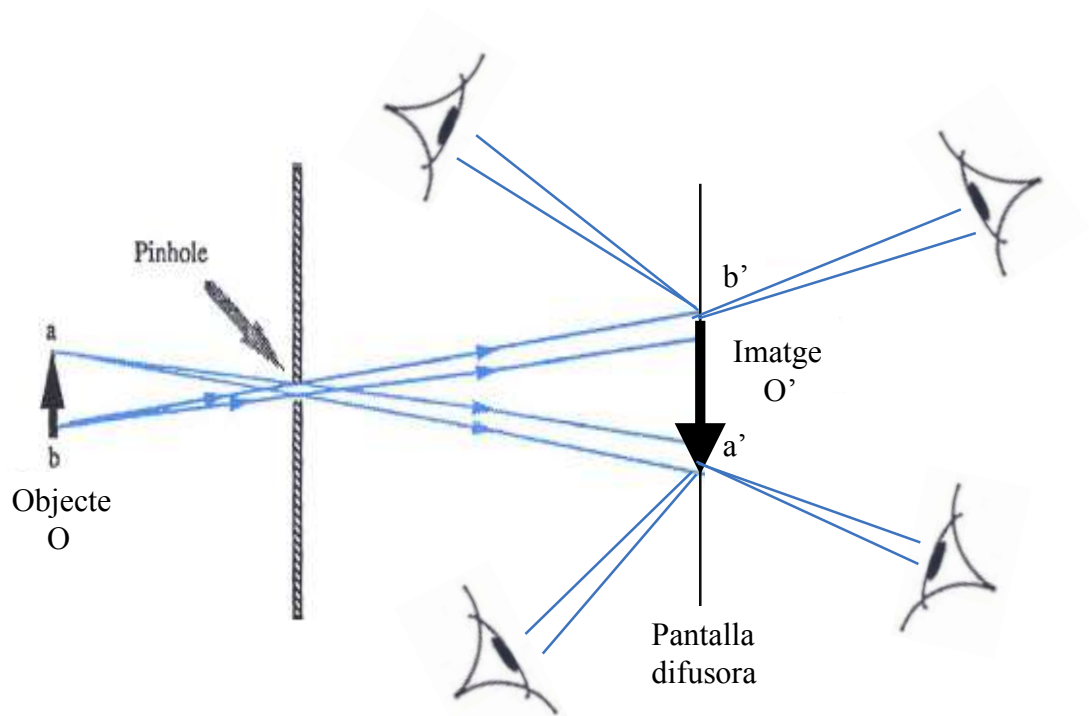
### 3.2 Necessitat d'una pantalla.

Per poder formar una imatge, la càmera pinhole necessita una pantalla. A les figures 2 i 3 veiem que la imatge es forma per la superposició d'aquestes taques. Per obtenir cada una d'aquestes taques es necessita que els raigs de llum que projecta el pinhole incideixin damunt d'una pantalla. La figura 4 mostra dues situacions on s'analitza la visió de la imatge segons la posició de l'observador. La figura 4 (a) mostra un observador que mira els raigs que surten d'un pinhole. Aquest observador no veurà la imatge. Només veurà els raigs de llum que surten d'uns pocs punts de l'objecte i arriben a l'ull després de travessar el pinhole. És a dir, només veurà un petit tros de l'objecte.

La figura 4 (b) mostra diversos observador que miren la imatge que es forma en una pantalla. Degut a la capacitat difusora de la pantalla, aquesta torna a emetre els raigs de llum que li arriben en totes direccions. L'observador veurà la imatge en la pantalla qualsevol que sigui la seva posició.



(a)



(b)

Figura 4. (a) Sistema pinhole sense pantalla. L'observador només veu un petit trosset de la imatge. (b) Sistema pinhole amb pantalla. L'observador veurà la totalitat de la imatge qualsevol que sigui la seva posició.



#### 4. FORMACIÓ DE LA IMATGE MITJANÇANT UN/VARIS PINHOLES. IMATGES PINHOLE A LA NATURA.

Quan en una càmera fosca utilitzem diversos pinholes, el número de imatges que es formen serà igual al número de pinholes. Com podem observar a la figura 5 (a) només hi ha un pinhole, llavors la imatge que es forma del filament de la bombeta és única. A la figura 5 (b) tenim múltiples pinholes, per tant, es formaran també diverses imatges del filament de la bombeta, coincidint amb el número de pinholes que hi ha.

Per acabar, la figura 5 (c) ens mostra diverses imatges d'un eclipsi solar que s'han format a través dels foradets d'una galeta.

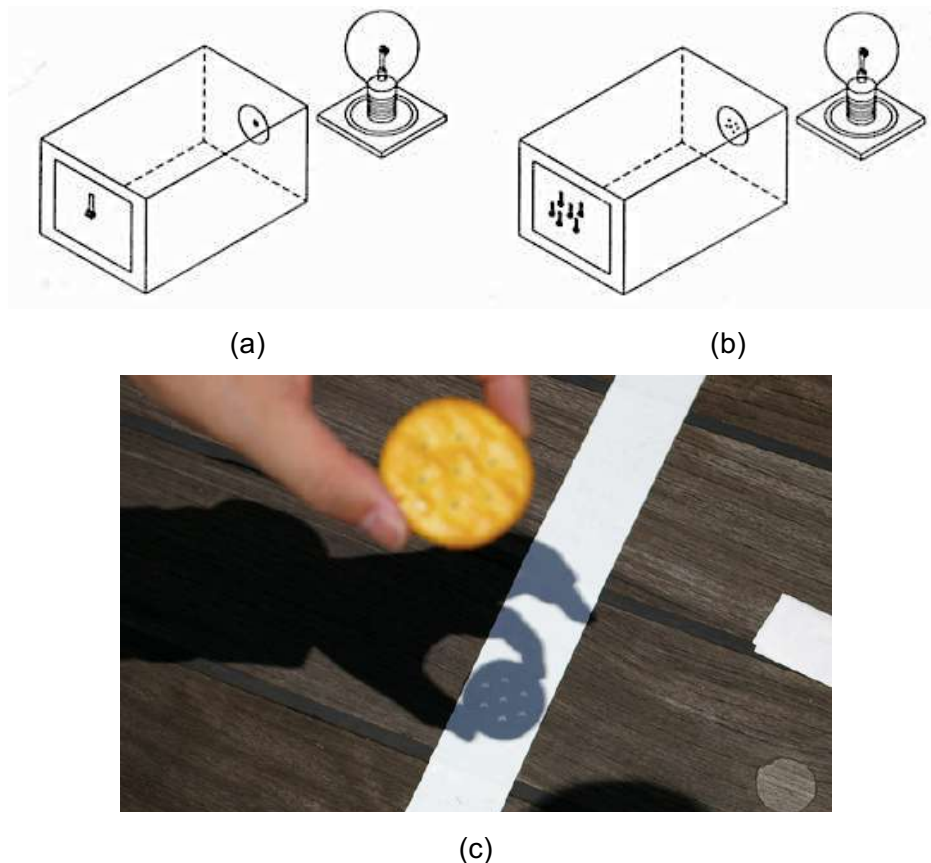
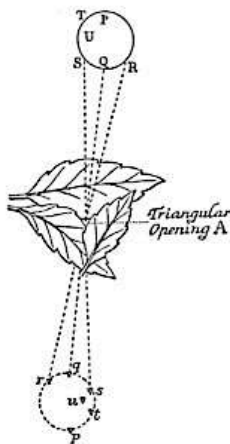


Figura 5. Imatges formades per (a) un únic pinhole, (b) diversos pinholes, (c) varis forats d'una galeta un dia de eclipse.

D'altra banda, també volem comentar la formació d'imatges pinhole a la natura. Quan hi ha arbres amb molta quantitat de fulles i aquestes es troben molt juntes, es formen petits espais entre elles. Aquests espais que queden entre les fulles

passen a ser pinholes de la natura que projecten diverses imatges del Sol a la superfície de la Terra.

La figura 6 (a) ens mostra un esquema sobre la formació de la imatge del Sol pel pinhole format amb tres fulles d'un arbre [4] .La figura 6 (b) la vista d'aquest conjunt de pinholes des del terra i la figura 6 (c) diferents imatges del Sol formades per aquests pinholes.



(a)



(b) Fotografia: Jaume Escofet



(c) Fotografia: Jaume Escofet

- Figura 6. (a) Formació d'un pinhole per superposició de diferents fulles d'un arbre.  
(b) Pinholes formats pels petits forats que formen les fulles dels arbres a la natura.  
(c) Diverses imatges del Sol obtingudes amb els pinholes anteriors.

## 5. EL PINHOLE EN OPTOMETRIA

El pinhole és un element que també es pot utilitzar per millorar la nitidesa d'una imatge formada amb una lent, i es troba desenfocada, tal com es veu a la figura 7 (a). A la figura 7 (b) es mostra com el fet de posar un petit forat davant de la lent, fa que disminueixi la mida de les taques de desenfoc.

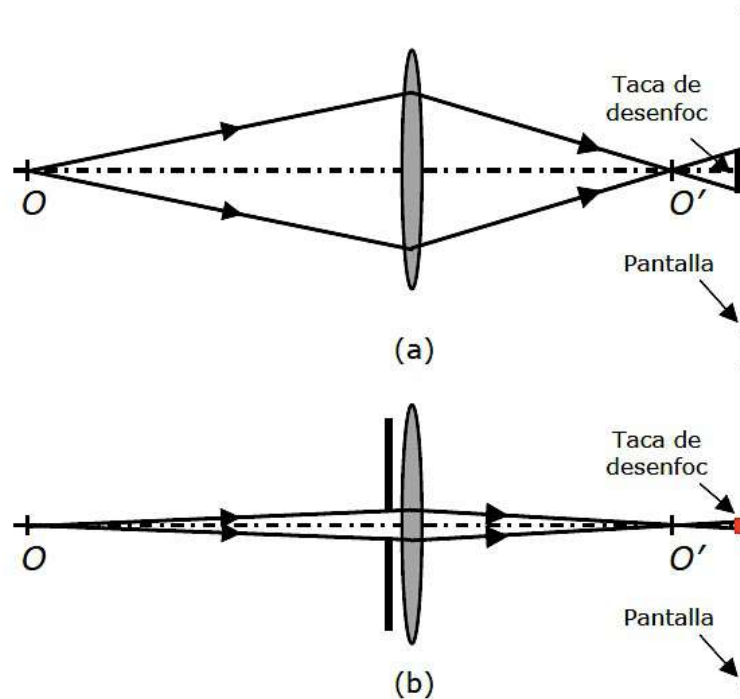


Figura 7. Taca de desenfoc i pinhole en una lent. (a) Sistema amb gran obertura on la taca de desenfoc és més gran. (b) Sistema amb una obertura petita (pinhole), on la taca de desenfoc s'ha reduït.

En optometria, una visió borrosa o desenfocada pot ser a causa d'un defecte refractiu de l'ull (ametropia) o degut a una patologia ocular o neuronal. L'aplicació del pinhole ens serveix per descartar la causa del desenfoc. Si ens trobem amb un pacient amb visió borrosa però que a través del pinhole pot veure la imatge més enfocada, es tracta d'una ametropia. En cas contrari, si amb l'acció del pinhole no millora la visió, llavors es tracta d'una patologia ocular o neuronal. Tot i això, el diagnòstic caldrà validar-lo amb altres test més específics.

Al 1689, el científic Cornelius Meyer, va fer un dibuix on es podia observar que ja existien les ulleres formades per una obertura pinhole (Figura 8). Cada lent era opaca i presentava una petita perforació al centre d'aquesta per tal d'oferir a l'observador una visió enfocada.

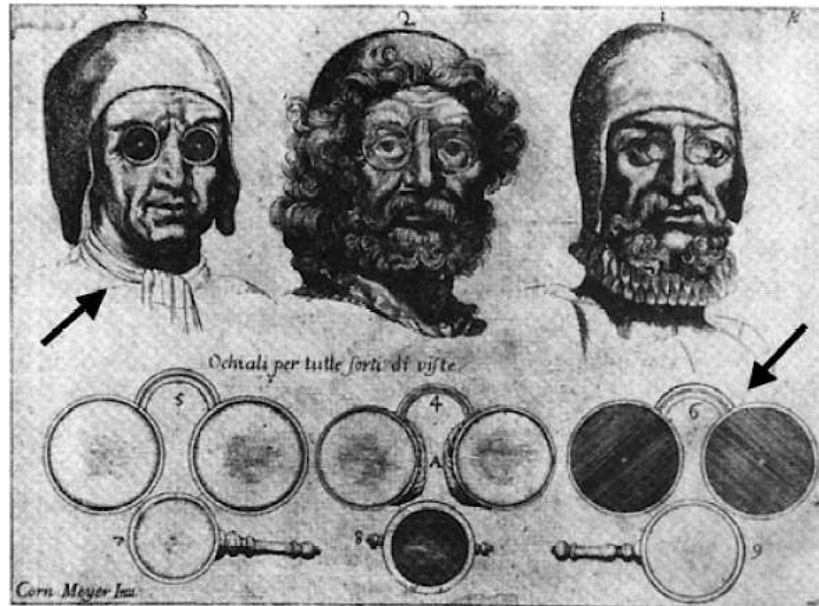


Figura 8. Correcció de defectes visuals amb diferents tipus d'ulleres. Assenyalades les ulleres formades per un pinhole.

La figura 9 (a) mostra el cas d'un ull miop sense corregir i el desenfoc que es produeix en la imatge que es forma en la retina. La borrositat de la taca de desenfoc, fa que l'observador no aconsegueixi veure-hi de forma nítida. A la figura 9 (b) podem observar que la taca de desenfoc s'ha reduït després d'acoblar un pinhole a l'ull miop, per tant, fa que la nitidesa de la imatge augmenti.

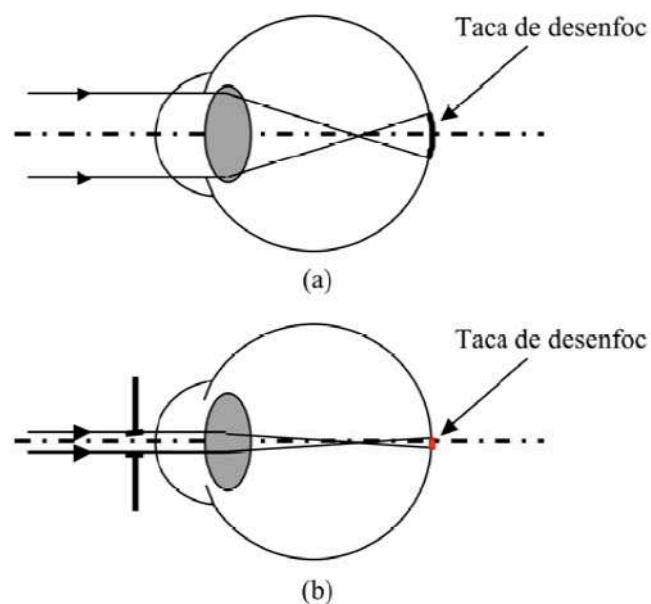


Figura 9. Reducció del desenfoc en un ull miop gràcies a un pinhole.

A la figura 10, podem veure els oclusors que s'utilitzen en optometria per tal de descartar o confirmar possibles patologies oculars o neuronals. La figura 11 mostra un oclutor estenopec que serveix per corregir la presbícia.



Figura 10. Oclusors amb pinholes utilitzats en optometria.



Figura 11. Correcció de la presbícia amb un pinhole.



## 6. LA CÀMERA PINHOLE

### 6.1 Els components.

#### 6.1.1 El cos de la càmera o la carcassa.

El cos o carcassa de la càmera és el recipient hermètic que hem decidit utilitzar com a càmera fotogràfica. En la majoria de casos, es tracta d'una càmera ja feta i preparada especialment per aquest tipus de fotografia, on la carcassa és normalment d'un material plàstic o de fusta i el pinhole està integrat. Altres vegades, es pot construir una càmera pinhole pròpia. Aquestes solen ser de forma quadrada o cilíndrica i els materials més utilitzats per fer-la són el cartró, metall o fusta.



Foto: shop.lomography.com



Foto: www.albedomedia.com

Figura 12. Exemples de diferents tipus de carcassa de càmera pinhole.

#### 6.1.2 El pinhole.

El pinhole és un petit forat que té la càmera estenoipeica al frontal, pel qual entren els raigs de llum que provenen de l'objecte que es vol fotografiar. Aquesta llum passa a través del pinhole i continua fins arribar a la pantalla o material fotosensible, situat al costat oposat.

El pinhole pot estar integrat a la càmera, es pot afegir amb una nova tapa treient l'objectiu (digital), o es pot fer el forat amb una agulla, d'un gruix molt prim, en una làmina opaca que faci la funció de pinhole, per exemple en una caixa.



Foto: [www.thorlabs.de](http://www.thorlabs.de)

Figura 13. Exemple de pinhole per una càmera.

### 6.1.3 L'obturador.

L'obturador és una làmina de material opac, que no deixa passar la llum a l'interior de la càmera. Aquest material pot estar integrat a la càmera, que s'obri i es tanqui amb un botó, o pot ser que una làmina enganxada, com en el cas d'una càmera construïda per nosaltres mateixos.

Per tal de realitzar una fotografia, obrirem l'obturador el temps d'exposició necessari, segons càlculs previs, per que es formi la imatge. Una vegada transcorregut aquest temps es tancarà l'obturador. La imatge que s'ha format al material fotosensible ja està apunt per revelar



(a)



(b)



(c)

Figura 14. Diferents obturadors per a diferents càmeres pinhole.

#### 6.1.4 El material fotosensible.

El material fotosensible és el que utilitzem per captar la imatge, i el col·loquem al costat contrari d'on es troba el pinhole, per on entren els raigs de llum per que es formi la imatge. El tipus de material fotosensible varia segons la càmera que utilitzen; pot ser un sensor en el cas de les càmeres digitals, o paper fotogràfic o pel·lícula, en les càmeres analògiques. Hi ha diferents tipus de material sensible:

##### 6.1.4.1 Digital.

En les càmeres digitals, el material fotosensible és un sensor format per milions de cel·les fotosensibles, cadascuna té una grandària microscòpica. Quan es parla de megapíxels correspon als milions de píxels (cel·les) que formen part del sensor de la càmera.

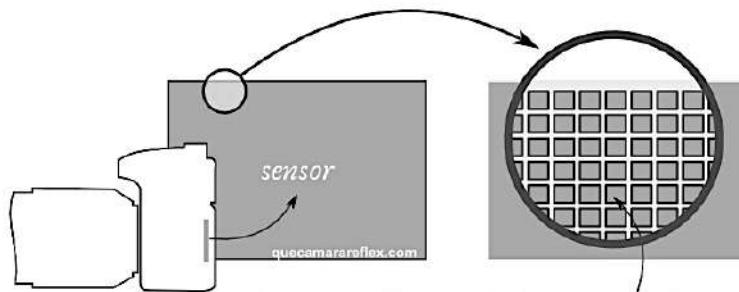


Foto: quecamarareflex.com

Figura 15. Esquema de la situació del sensor en la càmera digital, i la quantitat de píxels que es troben en aquest.

Les cel·les del sensor només detecten la intensitat de llum, no el color. És per això que els sensors inclouen uns filtres que descomponen la llum en tres components: vermell, verd i blau. Així podem obtenir les imatges en color i amb la intensitat de llum que correspon en cada situació.

En el cas de la fotografia digital, el mateix dispositiu és capaç de captar la llum i convertir aquesta energia lumínica en energia elèctrica. Això es pot dur a terme gràcies als sensors CCD i CMOS que trobem a les càmeres digitals.



Per tant, quant més gran sigui el sensor més quantitat de cel·les hi haurà; això fa que augmenti la sensibilitat de la càmera i la nitidesa de les imatges obtingudes amb aquesta.

#### 6.1.4.2 Analògic.

En el cas de les càmeres analògiques, s'utilitza un suport que està format per una o diverses capes que reaccionen amb el contacte amb la llum formant una imatge latent. Normalment s'utilitza com a material fotosensible el paper fotogràfic o la pel·lícula.

Tant la pel·lícula com el paper fotogràfic que hem fet servir en aquest treball captem la llum en escala de grisos, blanc i negre.

- Pel·lícula → està formada per un suport plàstic transparent recobert en una de les seves cares amb la dissolució fotosensible.



Foto: [www.ebay.es](http://www.ebay.es)

Figura 16. Material fotosensible analògic en format pel·lícula que hem utilitzat en aquesta memòria.

- Paper fotogràfic → el suport és un paper amb un major o menor gruix, també recobert per una dissolució sensible a la llum.



Foto: [www.twenga.es](http://www.twenga.es)

Figura 17. Paper fotogràfic utilitzat per la realització de fotografies.

### 6.1.5 El visor

#### 6.1.5.1 Visor directe.

En una cambra estenopeica és fa difícil enquadrar la imatge. La poca llum que arriba a la imatge i la impossibilitat, a vegades, de canviar el material sensible per una pantalla esmerilada prèviament a la realització de la fotografia, fa que sigui millor enquadrar segons el mètode següent:

Amb una cartolina es fa una finestra de la mateixa mida que el format de la pel·lícula, mirant a través d'ella amb l'ull situat a la distància focal de la càmera es pot determinar perfectament la posició de la càmera per cobrir el camp desitjat (Figura 18).

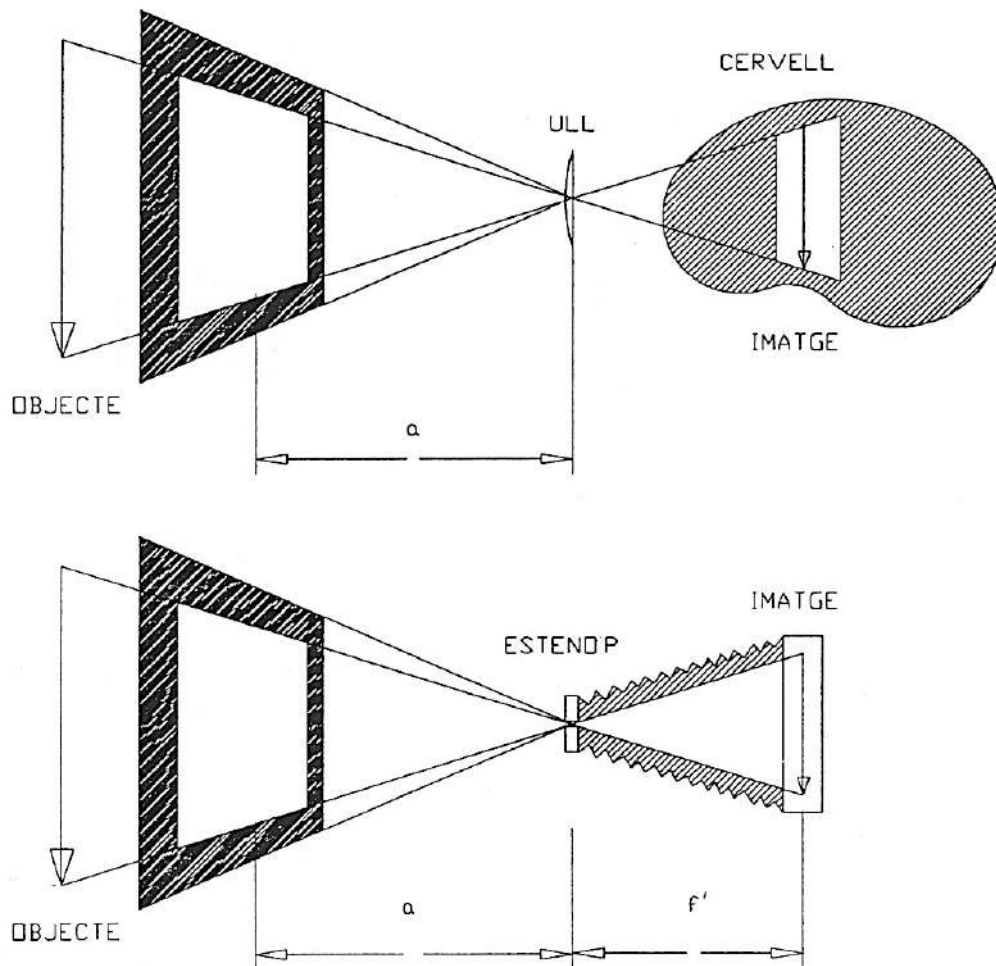


Figura 18. Visor esportiu per enquadrar la imatge

Tal com es mostra en la figura 18, es situa la cartolina a la distància de l'ull que proporcioni la perspectiva desitjada. La distància  $a$  és igual a la longitud focal  $f'$  necessària a la cambra

per aconseguir la mateixa cobertura de camp que el cas de l'ull. Això implica, òbviament, col·locar l'estenop en el mateix lloc que ocupava l'ull.

En el supòsit d'una cambra amb longitud focal  $f'$  fixa, cal analitzar l'escena amb la cartolina a una distància de l'ull  $a$  igual a  $f'$ . En aquest cas controlarem la perspectiva de l'objecte amb la distància d'observació.

Si el format de la pel·lícula no coincideix amb el de la cartolina cal aplicar a la longitud focal la raó de proporcionalitat entre ambdós formats.

#### 6.1.5.2 Visor indirecte (càmera del mòbil).

Una altra opció és la utilització de la càmera del mòbil per enquadrar la imatge que formarà la càmera pinhole. La figura 19 mostra com fer-ho.



(a)



(b)

Figura 19. Exemple de visor indirecte de la càmera del mòbil. (a) Enquadrament de la imatge amb el mòbil. (b) Imatge feta amb càmera pinhole

Si bé és difícil que el camp del mòbil coincideixi amb el camp de la càmera pinhole, ens pot donar una idea de la composició de la imatge.

## 7. TIPUS DE CÀMERES

### 7.1 Càmeres segons la seva geometria

Les càmeres pinhole normalment són de forma paral·lelepèdiques o cilíndriques, i poden ser de materials diversos. També podem trobar alguna altre forma no tan comuna. A continuació expliquem les principals geometries de les càmeres pinhole:

#### 7.1.1 Paral·lelepèdiques.

Les càmeres paral·lelepèdiques són aquelles que tenen sis cares, les quals són paral·leles i igual dos a dos. Normalment les cares d'aquestes càmeres solen ser de forma rectangular o quadrades. (Figura 20 (a)).

#### 7.1.2 Cilíndriques.

Las càmeres cilíndriques són les que tenen forma cilíndrica. Aquesta disposició geomètrica permet obtenir imatges amb una perspectiva diferent que en el cas de les paral·lelepèdiques. (Figura 20 (b)).

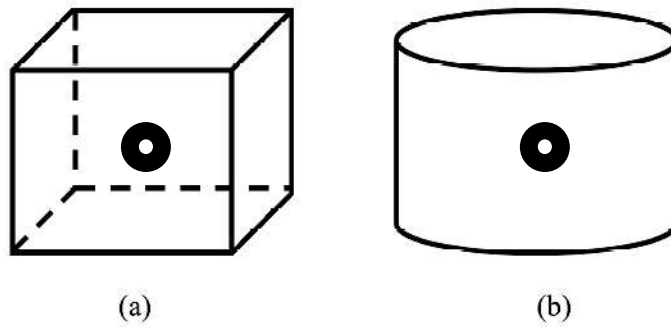


Figura 20. (a) Càmera pinhole paral·lelepèdica. (a) Càmera pinhole cilíndrica.

### 7.1.3 Panoràmiques.

En el cas de que la pantalla es cilíndrica amb el pinhole al centre de la circumferència que genera el cilindre tindrem una càmera panoràmica. En la figura següent es mostren varis exemples de càmeres pinhole panoràmiques.



Foto: es.pinterest.com



Foto: es.pinterest.com



Foto: es.pinterest.com



Foto: es.pinterest.com

Figura 21. Exemples de càmeres pinhole panoràmiques.

## 7.2 Càmeres segons el seu suport sensible

### 7.2.1 Paper/ Pel·lícula/ CCD

Segons el suport sensible de les càmeres aquestes es poden dividir en analògiques i en digital. Les càmeres analògiques són aquelles en les que el material fotosensible enregistra una imatge que, per ser vista, necessita d'un procés de revelat mitjançant diferents compostos químics. El suport sensible utilitzat en les nostres càmeres analògiques ha estat la pel·lícula fotogràfica i el paper fotogràfic.

Les càmeres digitals són les que enregistren les imatges mitjançant un dispositiu electrònic. Aquestes tenen l'avantatge que un cop presa la fotografia aquesta es pot veure a la pantalla de la càmera.

#### 7.2.1.1 Revelat i positivat.

En aquests tipus de suport sensible, tant en pel·lícula com en paper fotogràfic, quan les capes d'aquests reaccionen al contacte amb la llum, la imatge queda registrada en el material com a imatge latent. Per tal d'obtenir la imatge captada pel material fotosensible, s'ha de revelar.

En el procés de revelat utilitzarem revelador, atur i fixador; aquestes dissolucions es deixen durant un temps determinat segons el proveïdor.

Un cop hem revelat obtenim la imatge en negatiu, la qual després s'ha de positivar per tal de veure la imatge real.

##### 7.2.1.1.1 Positivat analògic (boxes of dreams pinhole)

El positivat analògic es realitza amb el mètode d'amplificació. Aquest mètode consisteix en col·locar a la amplificadora la imatge en negatiu. La llum que prové de l'amplificadora passa a través del negatiu fins a una lent que projecta la imatge del negatiu ampliat o reduït sobre el material sensible del positivat. Degut a que no disposem d'amplificadora no hem pogut utilitzar aquest mètode per positivar la imatge.

##### 7.2.1.1.2 Positivat digital.

El positivat digital és un altre mètode de positivar els negatius. En el cas del negatiu en paper el positivat digital que hem realitzat ha

estat per mitjà d'un escàner; i l'hem utilitzat amb les imatges fetes en paper fotogràfic. L'escàner, és millor que tingui una bona resolució, per tal d'obtenir imatges més nítides i no es perdin els detalls. Una vegada hem escanejat totes les fotografies, ja les tenim al ordinador i només faltaria positiu.

Quan el negatiu és en pel·lícula la digitalització s'ha fet capturant una foto del negatiu amb una càmera Nikon D70 i un objectiu Macro Nikkor 40 mm. La figura següent mostra el dispositiu de captació.

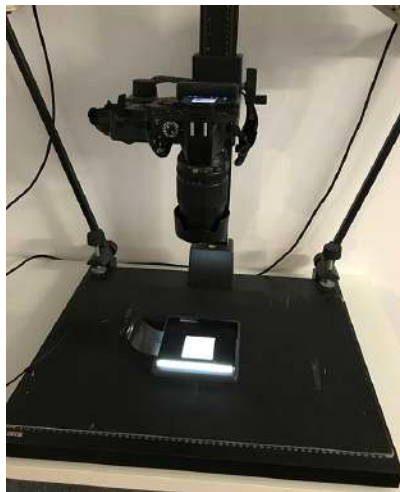


Foto: Marina Núñez

Figura 22. Procés de digitalització d'una pel·lícula fotogràfica.

Per passar les imatges a positiu, hem utilitzat el programa Adobe Photoshop CS6. Amb aquest programa hem pogut retallar, positiu, ajustar les corbes i també corregir l'exposició de la imatge per tal de obtenir els millors resultats possibles.

### 7.2.2 CCD/ CMOS

Quan parlem de CCD o CMOS, ens referim al sensor de la càmera fotogràfica.

El sensor CCD té unes cel·les fotoelèctriques que registren la imatge. La resolució de la imatge obtinguda ve determinada per nombre de cel·les, aquest nombre s'expressa en píxels. Per tant, quant més píxels tingui el sensor de la càmera major serà la nitidesa de les imatges obtingudes.

Aquest sistema és més sensible a la llum que el sensor CMOS, treballa amb una cobertura dels colors primaris (RGB), i també captura un rang més ampli de tons en les fotografies.

El sensor CMOS, té menys sensibilitat a la llum que el sensor CCD. Està format per una quantitat de píxels que transmeten una determinada corrent elèctrica que varia segons la intensitat de llum rebuda.

## 8. CONSTRUCCIÓ D'UNA CÀMERA PINHOLE

Per la construcció d'una càmera pinhole podem utilitzar qualsevol recipient que sigui completament hermètic a la llum. Les càmeres poden ser de formes molt diverses encara que les més utilitzades són les que presenten forma paral·lelepípede i cilíndrica (Figura 23); també hi ha gran varietat en quant a materials per la seva fabricació, com poden ser la fusta, cartró, metalls o plàstics. Totes les càmeres que es poden fer amb aquests materials han de complir la condició de no deixar passar la llum a l'interior d'aquestes. En aquest cas, la càmera que hem construït per realitzar el treball és de cartró.

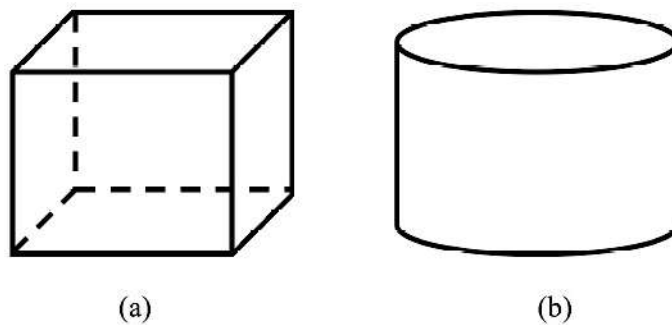


Figura 23. Dos formes diferents de càmera pinhole. (a) Paral·lelepípeda.  
(b) Cilíndrica.

Una vegada tenim el recipient que utilitzarem de càmera i abans de passar a la fabricació del pinhole, marcarem la posició on s'haurà de col·locar aquest. Normalment el pinhole el situarem centrat a la part oposada del recipient on es col·locarà el material fotosensible, en aquest cas paper fotogràfic.

A la figura 24 veiem de forma esquemàtica com s'ha de centrar el pinhole. En el cas que el recipient a utilitzar tingui forma paral·lelepípeda, la posició del



pinhole ve determinada per la intersecció de les dues diagonals de la cara rectangular. Si la caixa té forma cilíndrica, situarem el pinhole a qualsevol posició de la superfície cilíndrica, sempre i quan estigui ben centrada respecte les cares superior i inferior del cilindre.

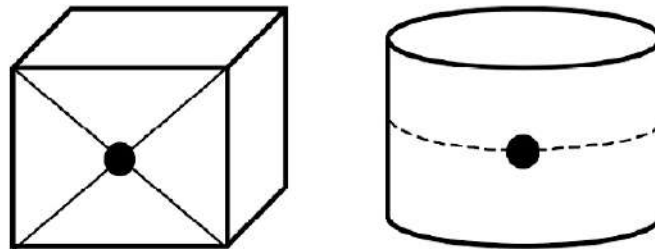


Figura 24. Determinació de la posició del pinhole.

Una vegada hem determinat i marcat la posició correcta del pinhole, haurem de realitzar un forat, normalment circular, de aproximadament 1 cm de diàmetre. En aquesta posició es on fixarem l'objectiu pinhole una vegada el tinguem fabricat.

### 8.1 Fabricació del pinhole

Per fabricar el pinhole agafarem una agulla molt prima i passarem a realitzar el forat o pinhole tal com podem observar a la figura 25 (a). Haurem d'anar amb molta cura que no ens quedin vorells a l'hora de fer el forat (figura 25 (b)) ja que limitarien l'extensió del camp imatge.

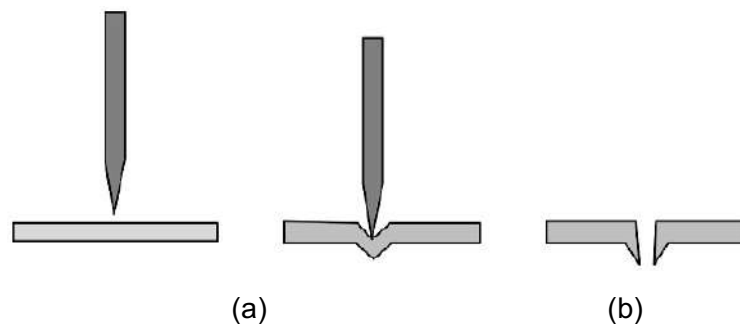


Figura 25. (a) Obtenció de un pinhole. (b) Vorell en el pinhole.

Si volem evitar els vorells, una forma senzilla de realitzar el pinhole serà posant el suport entre dues superfícies dures, com si fos un entrepà (figura 26). El material que podem fer servir com a superfícies dures, pot ser un cartró prim però que evita l'aparició de vorells, i així, aconseguirem un forat circular net.

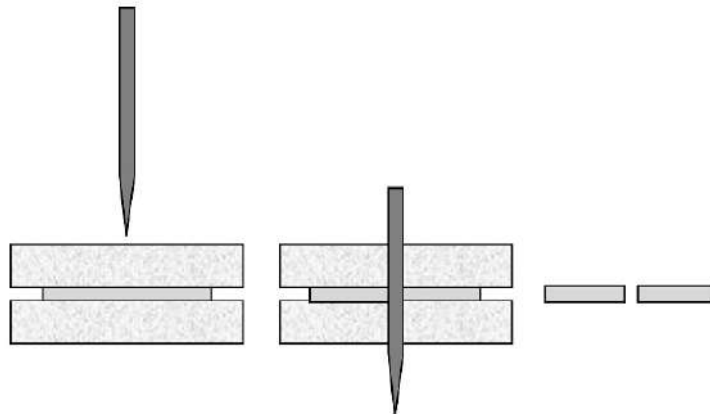


Figura 26. Obtenció d'un pinhole circular net, sense vorells.

Una vegada tenim fet el pinhole el més net possible i sense vorells, procedirem al muntatge en la caixa que utilitzarem de càmera pinhole. Enganxarem el pinhole amb cinta adhesiva o cola sobre el forat que havíem fet a la caixa, ben centrat, de forma que quedi completament tapat (figura 27).

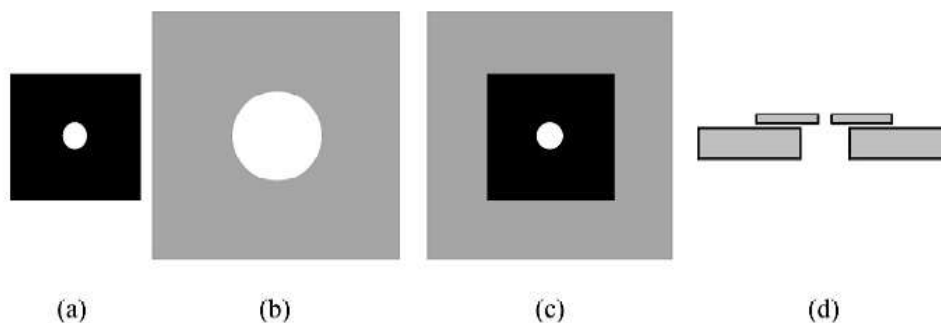


Figura 27. Etapes del muntatge del pinhole a la càmera. (a) Pinhole. (b) Forat de la caixa. (c) Pinhole acoblat al forat de la caixa. (d) Secció vertical del muntatge.

Per acabar, farem una làmina amb un material opac i l'utilitzarem com a obturador, per tal de deixar passar la llum un determinat temps d'exposició per que es faci la fotografia, o per evitar que passi la llum i la caixa sigui totalment hermètica.

## 9. ÒPTICA DE LA CÀMERA PINHOLE

A partir d'ara parlarem de càmera pinhole com a càmera fotogràfica, amb la qual estudiarem amb detall les imatges formades amb aquesta.

Tal com hem esmentat anteriorment, en la càmera pinhole, la formació de la imatge es basa en la superposició de taques de llum que es projecten a través del pinhole en una pantalla. Per tal de trobar la forma i la mida de les taques que es formen, tindrem en compte en primer lloc, el model més senzill de la llum que és el que deriva de l'òptica geomètrica. Tot i així, aquest model no pot explicar la difracció que es produeix quan l'obertura del pinhole és massa petita. Per això, també haurem de tenir en compte el mode ondulatori de la llum.

### 9.1 Model geomètric de formació de la imatge

Segons el model geomètric de formació de la imatge, la mida de la taca imatge  $\phi_{ig}$  que forma un objecte puntual  $O$ , que es troba situat a una distància  $a$  d'un pinhole de diàmetre  $\phi_p$  en una pantalla situada a la distància  $a'$  del pinhole, val (figura 28):

$$\phi_{ig} = \phi_p \left( 1 + \frac{a'}{a} \right) \quad (1)$$

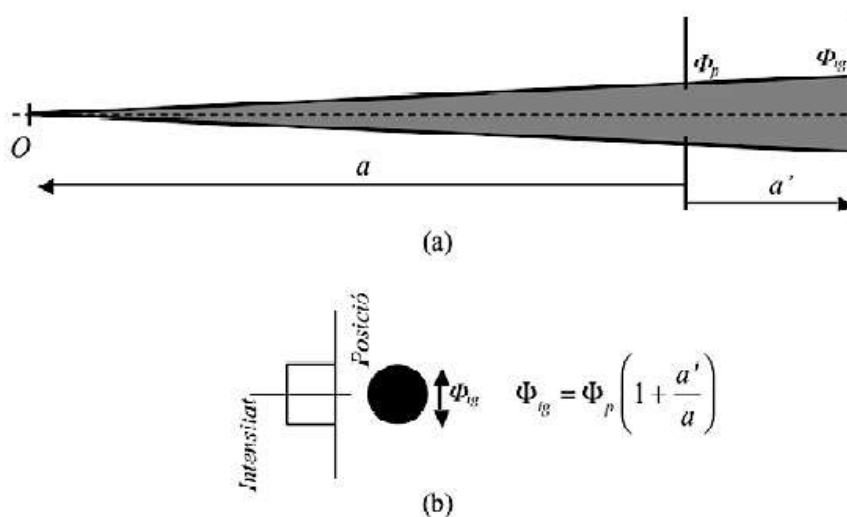


Figura 28. Model geomètric: a) Formació de la taca imatge amb un pinhole.  
b) Mostra la forma i mida de la taca imatge.

En el cas de que  $a$  sigui molt més gran que  $a'$ , llavors resulta que  $\phi_{ig} = \phi_p$

En la figura 29 podem observar la formació de la imatge per superposició de taques geomètriques quan l'objecte O, es troba a una distància llunyana.

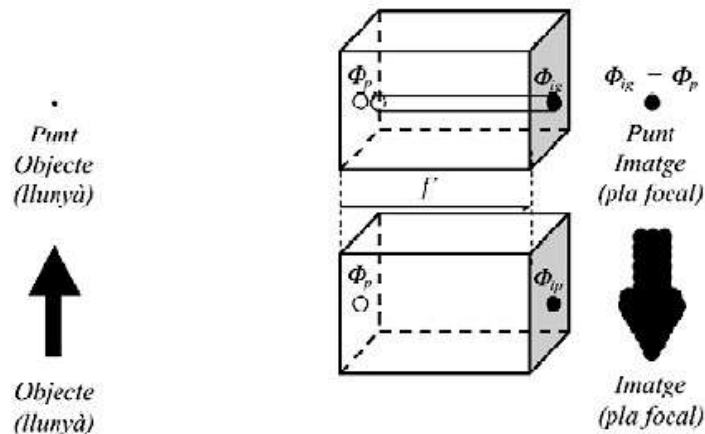


Figura 29. Mostra la formació de la imatge mitjançant la superposició de taques geomètriques.

## 9.2 Model ondulatori de formació de la imatge

Tal com diu el model geomètric, la mida de la taca imatge disminueix quant més petit és el diàmetre del pinhole, i així, augmenta la nitidesa de la imatge. Però, quan el forat del pinhole és massa petit, s'ha de tenir en compte la difracció de la llum. Degut al fenomen de la difracció encara que el diàmetre del pinhole disminueixi, la mida de la taca es fa més gran (Figura 30).

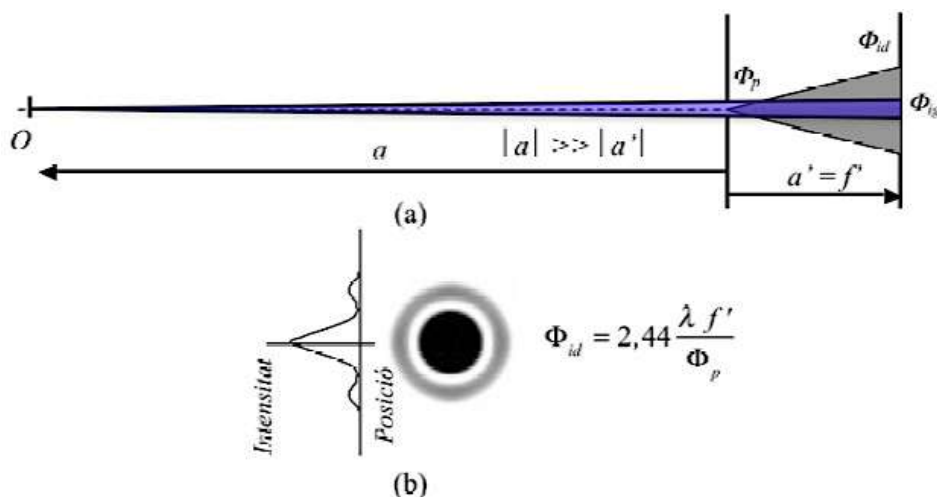


Figura 30. Model ondulatori: a) Formació de la taca imatge amb un pinhole. b) Forma i mida de la taca imatge per un objecte en posició llunyana.

En cas que es compleixi la condició en la que  $a' \gg \phi_p^2 / \lambda$  tindrem difracció de Fraunhofer on el diàmetre de la taca de difracció  $\phi_{id}$  d'una obertura circular s'expressa analíticament amb la següent fórmula:

$$\phi_{id} = \frac{2,44 \lambda f'}{\phi_p (1+|m|)} \quad (1)$$

On  $m$  és l'augment lateral que es defineix com:

$$m = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (2)$$

Quan l'objecte es troba a una distància molt allunyada, llavors s'utilitza l'expressió següent, que és la que farem servir en la majoria de casos:

$$\phi_{id} = \frac{2,44 \lambda f'}{\phi_p} \quad (3)$$

La següent figura 31 mostra la formació de la imatge gràcies a la superposició de taques de difracció.

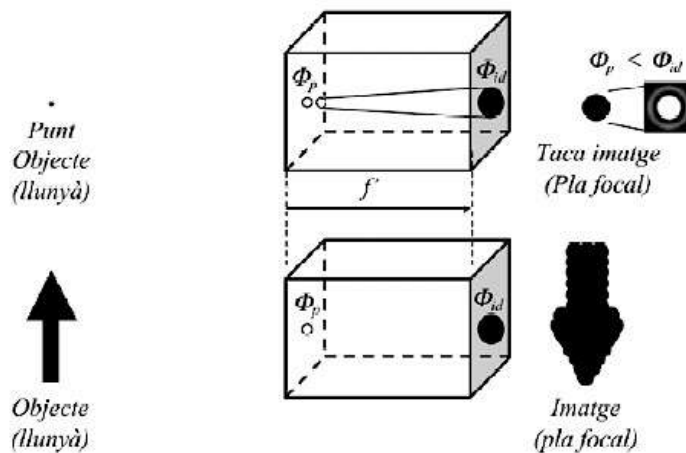


Figura 31. Formació de la imatge per superposició de taques de difracció.

### 9.3 Mida òptima del pinhole

La mida òptima del pinhole s'obtindrà quan les taques degudes a la teoria geomètrica i a la difracció coincideixen. D'aquesta manera si iguaem les equacions (1) i (2) tenim que el diàmetre del pinhole òptim  $\phi_{po}$  val:

$$\phi_{po} = \sqrt{2,44 \lambda f'} \quad (1)$$

Si prenem  $\lambda = 550 \cdot 10^{-6}$  mm el valor del diàmetre del pinhole òptim és:

$$\phi_{po} = 0,037 \sqrt{f'} \text{ (mm)} \quad (2)$$

## 10. PROFUNDITAT DE CAMP

Definim profunditat de camp,  $PC$ , com a interval de distàncies axials que es troben situades a l'espai objecte, i que apareixen enfocades en la imatge obtinguda. La profunditat de camp augmenta quan el diàmetre del diafragma d'obertura del sistema òptic disminueix.

En la càmera pinhole, el diàmetre del diafragma d'obertura és molt petit, el que significa que la profunditat de camp és molt gran. Per tant, a la imatge que obtindrem sortiran enfocats tant els objectes que estan molt a prop de la càmera (distància  $a_2$ ), com els que es troben més allunyats, a l'infinit (distància  $a_1$ ) (Figura 32).

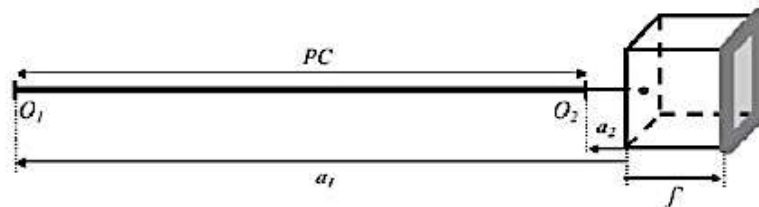


Figura 32. Esquema de la profunditat de camp en una càmera pinhole.

### 10.1 Exemples



Foto: Marina Núñez



Foto: Marina Núñez

Figura 33. Exemple de profunditat de camp en una càmera pinhole. (a) Fotografia feta amb iPhone 7 amb molta profunditat de camp. (b) Fotografia feta amb càmera pinhole. La profunditat de camp és evident.



Foto: Marina Núñez

Càmera iPhone 7



Foto: Marina Núñez

Càmera Fusta

Figura 34. Exemple de profunditat de camp amb càmera pinhole de fusta.  
(a) Fotografia feta amb iPhone 7. (b) Fotografia feta amb càmera pinhole fusta.

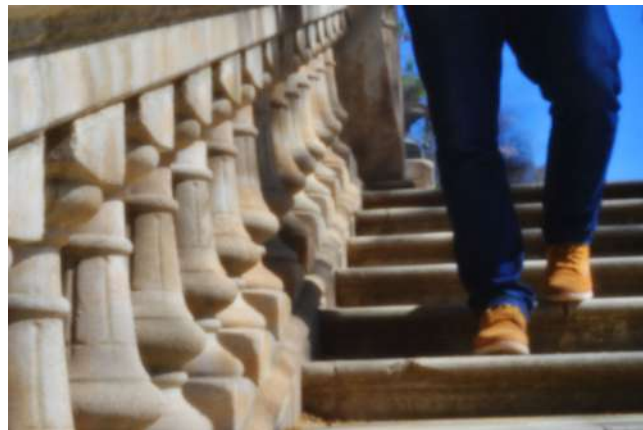


Foto: Marina Núñez

Càmera Nikon D5100

Figura 35. Exemple de profunditat de camp amb càmera pinhole. Fotografia feta amb càmera Nikon D5100 + tapa pinhole.

## 11. CAMP ANGULAR

Definim camp angular ( $2\omega$ ) com el camp angular objecte que pot captar el sensor de la càmera. D'acord amb la figura:

$$\tan \omega = \frac{r}{f'} = \frac{d}{2f'} \quad (1)$$

$$2\omega = 2 \tan^{-1} \left( \frac{d}{2f'} \right) \quad (2)$$

On la  $r$  i  $d$  són la semidiagonal i diagonal del sensor respectivament.

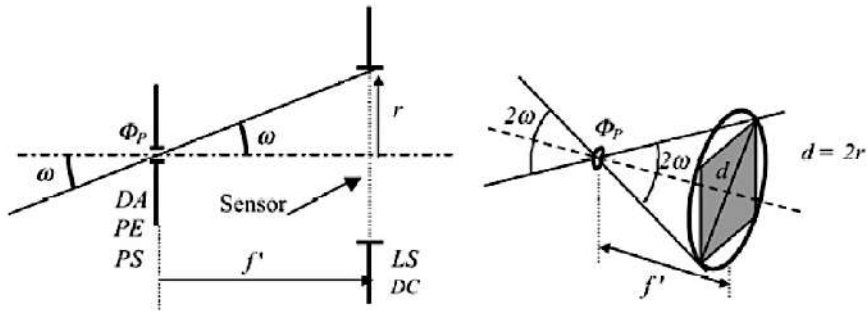


Figura 36. Camp angular i mida del sensor.

La taula 2, mostra la classificació del camp angular d'una càmera en tres grans grups: grans angulars, normals i teleobjectius.

<b>Grans angulars</b>	$2\omega \geq 53^\circ$
<b>Normals</b>	$2\omega \approx 53^\circ$
<b>Teleobjectius</b>	$2\omega < 53^\circ$



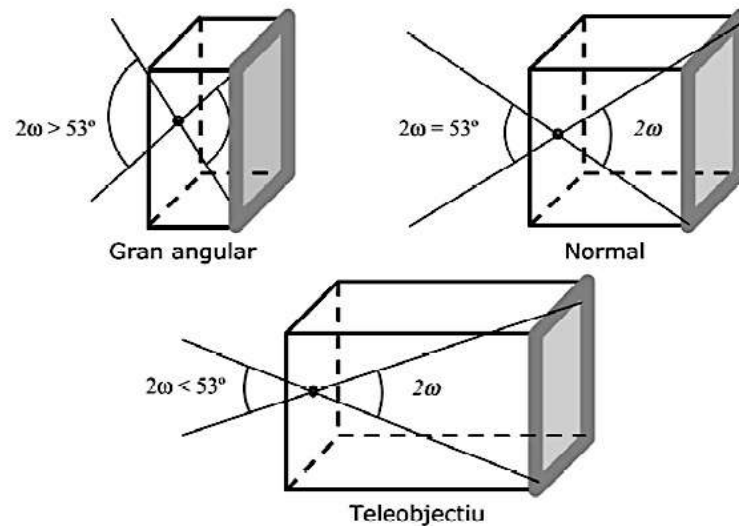


Figura 37. Classificació de les càmeres segons el seu camp angular.

### 11.1 Vinyetejat

El vinyetejat és un efecte involuntari pel qual les cantonades de la fotografia queden amb cert ombreig. Això pot ser a causa de les variacions de il·luminació al llarg de tota l'escena que volem fotografia.

Normalment, l'enfosquiment és continu, va des de el centre cap a les vores de la imatge. La part central de la fotografia té una il·luminació més intensa i a mesura que ens anem acostant a les vores es va enfosquin fins tornar-se negre; això significa que s'ha perdut gairebé tota la informació.

El pinhole pel qual passen els raigs de llum tenen una certa inclinació, segons l'angle d'incidència d'aquesta llum. Quant més gran sigui el diàmetre del pinhole, major serà l'angle d'incidència dels raigs de llum i, per tant, la il·luminació que captarà el material fotosensible de la càmera serà inferior, en general.

Es mostra amb aquesta expressió:

$$E = E_0 \cos^4 \theta \quad (1)$$

On  $E$  és la il·luminació en qualsevol punt de la imatge, i  $E_0$  és la il·luminació que trobarem al centre de la imatge. La següent imatge és un clar exemple de vinyetejat.



Foto amb càmera Holga: Marina Núñez

Figura 38. Fotografia on es veu clarament l'efecte del vinyetejat.

## 12. EXPOSICIÓ

L'exposició és la quantitat de llum que capta el material fotosensible, segons cada càmera, per tal que es formi la imatge. L'exposició s'expressa com:

$$H = K \frac{t}{N^2} \quad (1)$$

On  $t$  és el temps que el sensor es troba exposat a la llum i  $N$  el nombre de diafragma de la càmera.

Com que el nombre de diafragma sempre es el mateix, el paràmetre que cal ajustar en una fotografia amb càmera pinhole es el temps  $t$ . En les càmeres fotogràfiques, el temps d'exposició es controla segons la velocitat en que s'obre i es tanca l'obturador

En el nostre treball el temps d'exposició utilitzat per captar les imatges és el temps que hem deixat obert el pinhole i després hem tancat, segons les característiques de cadascuna de les càmeres que hem fet servir.

Per aconseguir una exposició correcta tenim en compte la regla bàsica del *Sunny day*, que diu que per un dia assolellat per una apertura a  $f/16$  el temps d'exposició és igual a la inversa del valor de l'ISO. Per exemple si l'ISO de la

càmera és 125 i el valor del diafragma és f/16 el temps d'exposició serà de 1/125. En el cas de que l'ISO de la càmera sigui de 400 en un dia assolellat el temps d'exposició serà de 1/400.

La regla de Sunny day ens permet determinar el temps d'exposició a partir de les mesures que fa el fotòmetre. Tenint en compte que el fotòmetre no arriba a valors del nombre de diafragma tant grans com els de les càmeres pinhole i, que quan el suport negatiu és de paper, a valors ISO tan baixos com ISO = 6, els valors del temps d'exposició es determinen a partir de:

$$\frac{S_1 t_1}{N_1^2} = \frac{S_2 t_2}{N_2^2} \quad (2)$$

La fórmula anterior s'aplica de la manera següent. Suposem que el fotòmetre mesura que la llum de l'escena és:  $S_1 = 100$ ,  $t_1 = 1/100$  i  $N_1 = 16 = f/16$ . Suposem que la nostra càmera té un nombre de diafragma de  $N_2 = 240 = f/240$  i que el suport sensible és paper  $S_2 = 6$  ISO. Aplicant la fórmula anterior resulta que el temps d'exposició de l'escena és de 38 segons.

## 12.1 Diferents maneres de mesurar l'exposició

L'exposició necessària per realitzar cada fotografia es pot mesurar de diverses maneres, segons si utilitzem una càmera digital on el fotòmetre està integrat, o si la càmera que farem servir no disposa d'aquest dispositiu, llavors necessitarem un fotòmetre manual.

### 12.1.1 Fotòmetre TTL acoblat a la càmera.

El fotòmetre és un dispositiu que mesura la llum existent en l'escena que es vol fotografiar (llum incident o reflectida). Les càmeres digitals tenen incorporat un sistema per processar la informació relativa de la llum que arriba al sensor; és el sistema TTL (*Through The Lens*) el qual mesura la llum reflectida de l'escena que arriba a la càmera.

Les càmeres que disposen del sistema de mesura TTL, compten amb diversos modes per tal de fer aquestes mesures amb major precisió, i donin com a resultat imatges millor exposades. Modes de mesura:

- Matricial o evolutiva: fa una mesura general, divideix l'escena amb una quadricula i mesura la informació de cada quadrat. És bastant útil sobretot quan la lluminositat és similar en tota l'escena.
- Ponderada al centre: és una mesura que dona més importància a la informació que arriba des de el centre de l'escena que es vol fotografiar.
- Puntual: és la mesura que dona més informació de la zona que realment es vol fotografia. Serveix d'ajuda per saber com es vol distribuir la informació segons com s'enquadri l'escena; i es té major poder de decisió.



(a)

(b)

(c)

Foto: [www.revengemag.tv](http://www.revengemag.tv)

Figura 39. Icones del modes de mesura en sistema TTL. (a) Matricial o evolutiva. (b) Ponderada al centre o central. (c) Puntual.

Quan s'ha utilitzat el fotòmetre integrat a la càmera fotogràfica aquest ha fet la mesura en mode matricial.

### 12.1.2 Fotòmetre manual.

El fotòmetre manual és un dispositiu independent de la càmera fotogràfica que permet registrar el nivell de llum que hi ha en una escena determinada. Segons el resultat que dona el fotòmetre es fan ajustos d'apertura, temps d'exposició i sensibilitat.

El fotòmetre manual mesura la llum incident en l'escena i també la llum reflectida. Un exemple de fotòmetre manual és aquest:



Foto: [www.losionline.com](http://www.losionline.com)

Figura 40. Exemple de fotòmetre manual.

### **13. CARACTERÍSTIQUES PRINCIPALS DE LES DIFERENTS CÀMERES I DE LES IMATGES OBTINGUDES AMB CADASCUNA D'ELLES.**

En aquest apartat explicarem les característiques principals de les càmeres que hem utilitzar per fer aquest treball. Les càmeres són:

1. La caixa de cartró fabricada per nosaltres.
2. La caixa de fusta.
3. La càmera Holga de format 6x6 cm
4. La càmera Nikon D5100.

També mostrarem algunes de les imatges que hem obtingut amb cadascuna d'elles.

### 13.1 Càmera de cartró

La figura 41 mostra la càmera de cartró construïda per a la realització d'aquest treball. Les seves característiques principals són:



Figura 41. Càmera de cartró construïda per a la realització d'aquest treball.

- Tipus de sensor: Paper fotogràfic
- Mida del sensor = 150 x 100 mm
- $\phi_p = 0,4 \text{ mm}$
- $f' = 100 \text{ mm}$
- $N = 250$
- Camp angular  $2\omega = 84^\circ$

A continuació es mostren algunes de les imatges obtingudes amb aquesta càmera.

La càmera captura el negatiu de la imatge, el qual es positiva digitalment a partir de l'escaneig i posterior processament del negatiu. La figura 42 mostra el negatiu obtingut amb la càmera i el seu positiu corresponent. La figura 43 mostra tres imatges en positiu obtingudes amb aquesta càmera.



(a)



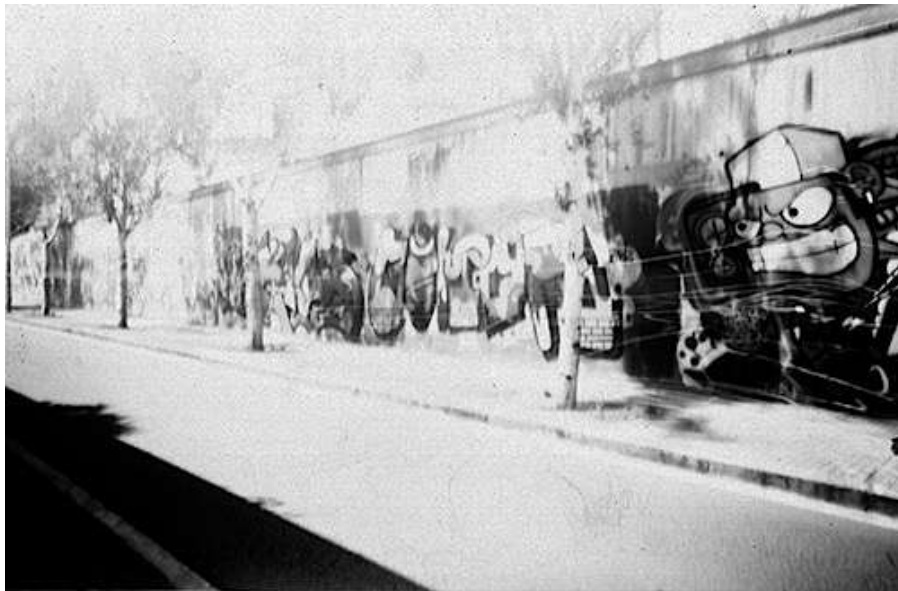
(b)

Temps d'exposició:  $t = 30''$

Figura 42. (a) Negatiu (b) Positiu de la imatge.



(a) Temps d'exposició:  $t = 1'$



b) Temps d'exposició:  $t = 1'$





(c) Temps d'exposició:  $t = 1'$

Figura 43.(a), (b) i (c). Positius de diferents imatges obtingudes amb la càmera de cartró amb diferents temps d'exposició.

### 13.2 Càmera caixa de fusta

La figura 44 mostra una càmera pinhole de fusta de la signatura Fotografia i Processament de la Imatge. Les seves característiques principals són:



Figura 44. Càmera caixa de fusta.

- Tipus de sensor: Paper fotogràfic
- Mida del sensor = 150 x 100 mm
- $\phi_p = 0,4$  mm
- $f' = 100$  mm
- $N = 250$
- Camp angular  $2\omega = 84^\circ$

A continuació es mostren algunes de les imatges obtingudes amb aquesta càmera.

Igual que en el cas anterior la càmera captura el negatiu de la imatge, el qual es positiva digitalment a partir de l'escaneig i posterior processament del negatiu. La figura 45 mostra el negatiu obtingut amb la càmera i el seu positiu corresponent. La figura 46 mostra sis imatges en positiu obtingudes amb aquesta càmera.



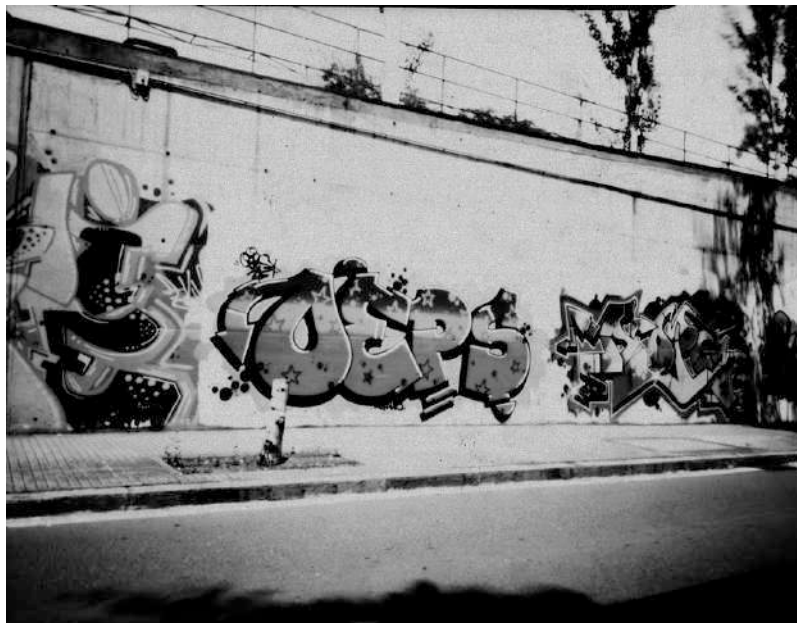
(a)



(b)

Temps d'exposició:  $t = 30''$

Figura 45. (a) Negatiu (b) Positiu de la imatge.



(a) Temps d'exposició:  $t = 1'$



(b) Temps d'exposició:  $t = 30''$



(c) Temps d'exposició:  $t = 1'$



(d) Temps d'exposició:  $t = 1'$



(e) Temps d'exposició:  $t = 1,5'$



(f) Temps d'exposició:  $t = 1'$

Figura 46. (a), (b), (c), (d), (e) i (f). Positius de diferents imatges obtingudes amb la càmera caixa de fusta amb diferents temps d'exposició.

### 13.3 Càmera Holga

La figura 47 mostra la càmera Holga. És una càmera comercial que forma la imatge en una pel·lícula fotogràfica de format mig. Les característiques principals d'aquesta càmera són:



Figura 47. Càmera Holga.

- Tipus de sensor: Pel·lícula fotogràfica
- Mida del sensor = 60 x 60 mm
- $\phi_p = 0,25$  mm
- $f' = 48$  mm
- $N = 192$
- Camp angular  $2\omega = 82^\circ$

La figura 48 mostra diferents imatges obtingudes amb aquesta càmera.



(a) Temps d'exposició:  $t = 4,5''$



(b) Temps d'exposició:  $t = 1''$



(c) Temps d'exposició:  $t = 3''$





(d) Temps d'exposició:  $t = 3,5''$



(e) Temps d'exposició:  $t = 19,5''$

Figura 48. (a), (b), (c), (d) i (e). Positius de diferents imatges obtingudes amb la càmera Holga amb diferents temps d'exposició.

### 13.4 Càmera Nikon D5100

Finalment, la figura 49 mostra la càmera digital Nikon D5100 a la que se li ha acoblat un objectiu pinhole. Les característiques principals d'aquesta càmera són:



Figura 49. Càmera Nikon D5100 + tapa pinhole

- Tipus de sensor: CMOS
- Mida del sensor = 24 x 16 cm, 4,928 x 3,264 píxeles.
- $\phi_p = 0,3 \text{ mm}$
- $f' = 50 \text{ mm}$
- $N = 16$

La figura 50 mostra diferents imatges obtingudes amb aquesta càmera. S'observa el camp reduït d'aquesta càmera.



(a) Temps d'exposició:  $t = 2''$



(b) Temps d'exposició:  $t = 2''$



(c) Temps d'exposició:  $t = 1''$



(d) Temps d'exposició:  $t = 2''$





(e) Temps d'exposició:  $t = 2''$



(f) Temps d'exposició:  $t = 1''$

Figura 50 (a), (b), (c), (d), (e) i (f). Positius de diferents imatges obtingudes amb la càmera Nikon D5100 amb diferents temps d'exposició.

#### **14. CONCLUSIONS:**

En aquest treball ha estat important la bona comprensió de com es forma la imatge en una càmera pinhole o càmera fosca. Els raigs de llum passen a través del pinhole i es forma la imatge de forma invertida, gràcies a la superposició de taques que provenen de l'objecte que hem fotografiat.

Altres aspectes importants han estat la decisió de quin tipus de càmera i quantes en faríem servir, així com el material fotosensible que utilitzaríem en cada cas.

En el cas de les fotografies obtingudes amb la càmera Nikon D5100, es van fer diverses proves de temps d'exposició, de 1, 2, 3 i fins a 4 segons, i sempre es fotografiaven escenes amb bona il·luminació. En aquesta càmera, la imatge que obteníem ja estava digitalitzada i en positiu, simplement havíem de comparar resultats. Per tant, arribem a la conclusió que si l'escena que es vol captar es troba amb il·luminació directa del sol, el temps d'exposició serà 1 segon, en canvi, si l'escena es troba ben il·luminada però la llum del Sol no és directa, deixarem una mica més de temps, en aquest cas 2 segons.

D'aquesta forma les fotografies obtingudes queden ben exposades i contrastades. Només faltaria retocar una mica amb Adobe Photoshop.

En les imatges obtingudes amb la càmera Holga, s'han realitzat algunes proves més que en el cas de la càmera Nikon D5100 ja que ens volíem assegurar de realitzar les fotografies amb un bon temps d'exposició. Això es degut a que en la càmera Holga el material fotosensible que es fa servir és pel·lícula fotogràfica, la qual ha de passar per tot un procés de revelat i positiu una vegada s'ha fet les fotos. Per tant, és un procés molt més complex.

Vam fer diverses proves fixant-nos en el contrast, fent 3 fotografies de la mateixa escena, una amb el temps d'exposició real que ens donava, a la

segona multiplicant el temps per 2, i a la tercera el multiplicàvem per 4; ja que els passos en fotografia es fan sempre pel doble.

En el cas de la Holga vam arribar a la conclusió que si el temps d'exposició que ens donava com a resultat correcte el multiplicàvem per 2, la fotografia obtinguda quedava millor exposada i amb més contrast entre els components de l'escena fotografiada; i no se'ns cremava la pel·lícula.

Per acabar, comentar les fotografies obtingudes tant amb la càmera de fusta com amb la càmera de cartró feta per nosaltres; les comentem conjuntament ja que finalment els resultats ens han marcat la mateixa pauta a seguir.

Igual que amb les altres càmeres utilitzades, vam realitzar diverses proves sobre el temps d'exposició. Si teníem present totes les dades (diàmetre del pinhole, focal, etc.) de cadascuna de les càmeres i seguint la regla de sunny day, ens donava com a resultat correcte que pel sunny day el temps d'exposició era d'un minut.

Després de fer moltes comprovacions de temps, contrast, etc. vam arribar a la conclusió que les imatges que obteníem de forma correcte era amb un temps d'exposició de 30 segons, quan l'escena es trobava al Sol i ben il·luminada. Encara que es cert que si deixàvem el minut, segons en quines escenes s'arribava a veure una mica més de detall, però la fotografia es veia una mica cremada.

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] Escofet, Jaume. "La càmera pinhole". Apunts de classe. 2016.
- [2] Goldberg, Fred; Bendall, Sharon and Galili, Igal. "Lenses, pinholes, screens, and the eye". Phys. Teach. 29, 221 (1991); doi: 10.1119/1.2343285.
- [3] Young Matt. "The pinhole camera: Imaging without lenses or mirrors" Phys. Teach. 27, 648 (1989); doi: 10.1119/1.2342908.
- [4] Bragg, William. "The Universe of Light." The Macmillan Company, New York, 1933.

## WEB GRAFIA:

Paréntesis. (2017). *¿Sensor CCD o CMOS?*. [online] Disponible en: [http://www.parentesis.com/tutoriales/Sensor\\_CCD\\_o\\_CMOS\\_Que\\_significa\\_todo\\_esto](http://www.parentesis.com/tutoriales/Sensor_CCD_o_CMOS_Que_significa_todo_esto)

Wikipedia (2017). *Cámara estenopeica*. [online] Es.wikipedia.org. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cámara\\_estenopeica](https://es.wikipedia.org/wiki/Cámara_estenopeica)

Qué cámara reflex comprar. (2017). *Cómo funciona el sensor de una cámara digital*. [online] Disponible en: <http://quecamarareflex.com/como-funciona-el-sensor-de-una-camara-digital/>

Wikipedia (2017). *Exposición (fotografía)*. [online] Es.wikipedia.org. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Exposición\\_\(fotograf%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Exposición_(fotograf%C3%ADa))

Manuales gratis. (2017). *Fotografía digital*. [online] Disponible en: <http://tareasuniversitarias.com/manual/fotografia-digital/>

Fumagalli, C. (2017). *Fotómetros integrados a la cámara, historia y modos de medición actuales*. [online] Carlosfumagalli.com.ar. Disponible en: <http://carlosfumagalli.com.ar/taller/fotometro-integrado-a-la-camara-y-modos-de-medicion-de-luz>



Fumagalli, C. (2017). *Fotómetros y Medición de Luz*. [online] Carlosfumagalli.com.ar. Disponible en:  
<http://carlosfumagalli.com.ar/taller/fotometros-y-medicion-de-luz-1>

Lomography.es. (2017). *Lomography - Un truco muy útil: La Regla Sunny 16*. [online] Disponible en: <http://www.lomography.es/magazine/225433-un-truco-muy-til-la-regla-sunny-16>

Lucas, J. (2017). *¿Fotómetro Integrado o De Mano?: Entendiendo Las Diferencias Entre Luz Reflejada o Incidente*. [online] dzoom. Disponible en:  
<https://www.dzoom.org.es/fotometro-integrado-o-de-mano-entendiendo-las-diferencias-entre-luz-reflejada-o-incidente/>

Wikipedia (2017). *Material fotosensible*. [online] Es.wikipedia.org. Disponible en:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Material\\_fotosensible](https://es.wikipedia.org/wiki/Material_fotosensible)

FotoCurso.net. (2017). *Mediciones: Sistema TTL (11)*. [online] Disponible en:  
<https://fotocursonet.wordpress.com/2011/01/27/mediciones-sistema-ttl/>

Wikipedia (2017). *Papel fotográfico*. [online] Es.wikipedia.org. Disponible en:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Papel\\_fotografico](https://es.wikipedia.org/wiki/Papel_fotografico)

Prado (2017). *Tema 6 Positivado*. [online] Es.slideshare.net. Disponible en:  
<https://es.slideshare.net/javieralcina/tema-6-positivado>

Wikipedia (2017). *Procesamiento digital de imágenes*. [online] Es.wikipedia.org. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Procesamiento\\_digital\\_de\\_imagenes](https://es.wikipedia.org/wiki/Procesamiento_digital_de_imagenes)

Wikipedia (2017). *Viñeteado*. [online] Es.wikipedia.org. Disponible en:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Viñeteado>

## IMATGES:

Pixabay.com. (2017). *Free Image on Pixabay - Aperture, Photographer, Photograph*. [ilustración] Disponible en: <https://pixabay.com/es/apertura-fotógrafo-fotograf%C3%ADa-1142967/>

SA, T. (2017). *Papel para impresora Ilford* | *Comprar Papel para impresora Ilford de la selección Twenga*. [ilustración] Twenga.es. Disponible en: <http://www.twenga.es/papel-para-impresora-ilford.html>

eBay. (2017). *Película fotográfica analógica ILFORD* | *eBay*. [ilustración] Disponible en: [https://www.ebay.es/b/Pelicula-fotografica-analogica-ILFORD/4201/bn\\_75231242](https://www.ebay.es/b/Pelicula-fotografica-analogica-ILFORD/4201/bn_75231242)

Thorlabs.de. (2017). *Precision Pinholes and Pinhole Wheel*. [ilustración] Disponible en: [https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_id=1400](https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=1400)

Lomography. (2017). *Holga 120 Pinhole Camera*. [ilustración] Disponible en: <https://shop.lomography.com/es/holga-120-pinhole-camera>

Sama, V. (2017). *Lomo Ondu, estenopeicas en madera* | *Albedo Media*. [ilustración] Albedo Media. Disponible en: <https://www.albedomedia.com/clasico/analogico/lomo-ondu-estenopeicas-en-madera/>